



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bogor Agricultural University

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

DETEKSI DAN PREDIKSI PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN GAMBUT KABUPATEN ROKAN HILIR PROVINSI RIAU MENGGUNAKAN SUPPORT VECTOR MACHINE DAN MODEL RANTAI MARKOV

ULFA KHAIRA



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**



Bogor Agricultural University

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA*

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Deteksi dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau Menggunakan *Support Vector Machine* dan Model Rantai Markov adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, September 2015

Ulfia Khaira
NIM G651130111



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

RINGKASAN

ULFA KHAIRA. Deteksi dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau Menggunakan *Support Vector Machine* dan Model Rantai Markov. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan LAILAN SYAUFINA.

Tutupan hutan sebagai salah satu tolok ukur kondisi hutan terus berkurang sejalan dengan intervensi dan eksplorasi yang dilakukan oleh manusia. Lahan gambut merupakan salah satu kawasan yang harus dilindungi terutama lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m karena memiliki fungsi hidrologis dan penunjang kehidupan yang sangat penting bagi manusia. *Remote sensing* (penginderaan jauh) merupakan salah satu alat yang efektif untuk memantau fenomena perubahan yang terjadi secara terus menerus dan dalam area yang luas.

tujuan dari penelitian ini adalah menentukan dan menganalisis perubahan tutupan lahan gambut di Kabupaten Rokan Hilir dengan menggunakan citra satelit serta membangun model prediksi perubahan tutupan lahan gambut. Penelitian ini menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) untuk mengklasifikasi jenis tutupan lahan dan model rantai Markov untuk memprediksi perubahan tutupan lahan gambut berdasarkan peluang perubahan lahan, model prediksi dibangun dengan kombinasi interval waktu tiga tahun yaitu tahun 2006-2009, interval enam tahun yaitu tahun 2000-2006, dan interval sembilan tahun yaitu tahun 2000-2009 yang kemudian diuji untuk memprediksi tutupan lahan tahun 2013. Penelitian ini menggunakan citra Landsat 5 TM dan Landsat 7 ETM+ yang diakuisisi tahun 2000, 2004, 2006, 2009, dan 2013, jumlah kelas yang digunakan sebanyak tiga yaitu kelas vegetasi rapat, vegetasi jarang, dan non vegetasi.

Penelitian ini terdiri dari empat pekerjaan utama yaitu praproses citra satelit, proses klasifikasi citra dengan teknik klasifikasi SVM, analisis hasil klasifikasi, dan membuat model prediksi perubahan tutupan lahan. Proses klasifikasi SVM menggunakan fungsi kernel *Radial Basis Function* (RBF) dengan parameter $C = 10$ dan $\gamma = 0.1$.

Hasil penelitian menunjukkan teknik klasifikasi SVM menghasilkan akurasi rata-rata 98.2% dan koefisien Kappa rata-rata 0.97. Hasil klasifikasi dianalisis dengan menggunakan *cross-tabulation* untuk mengukur perubahan tutupan lahan. Antara tahun 2000 dan tahun 2013 area non vegetasi meningkat 307% ini berarti bahwa area non vegetasi meningkat tiga kali lipat, area vegetasi jarang meningkat sebesar 22%, sementara itu area vegetasi rapat menurun 61%. Prediksi perubahan tutupan lahan gambut menggunakan model rantai Markov menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit multi temporal interval 3 tahun memberikan hasil prediksi yang baik dengan indeks kesesuaian prediksi dan aktual (D) sebesar 0.95. Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa *trend* area non vegetasi semakin bertambah, sedangkan area dengan vegetasi rapat semakin berkurang.

Kata Kunci: deteksi perubahan, model rantai markov, *remote sensing*, *support vector machine*.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

SUMMARY

ULFA KHAIRA. Detection and Prediction of Peatland Cover Changes in Rokan Hilir District Riau Province Using Support Vector Machine and Markov Chain Model. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG and LAILAN SYAUFINA.

Forest cover as one indicator of forest condition, continues to decrease in line with exploitation by humans. Very deep Peatland area is an area that should be protected because it has hydrological function. Remote sensing is an effective tools to monitor land cover changes in wide area.

The main objective of this study were to asses the peatland cover changes using multi-temporal remotely sensed data and to predict future peatland cover in Rokan Hilir district. The Support Vector Machine (SVM) supervised classification technique was used to classify land cover types and the Markov chain model was used to predict future peatland cover based on the historical changes. The markov chain model was carried out for combination time interval : 3 years interval (2006-2009), 6 years interval (2000-2006), and 9 years interval (2000-2009). The model was used to predict land cover of 2013. This study used images from Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM + acquired in 2000, 2004, 2006, 2009, and 2013. Due to the coarse resolution of the data, three classes were considered in the analysis: dense vegetation, sparse vegetation, and non vegetation.

There are four main works of this research. These include satellite image preprocessing, support vector machine supervised classification, classification result analysis, and modeling of land cover changes. Through in using SVM some parameters had to be considered, the RBF kernel method was chosen. RBF kernel requires setting of two parameters, the kernel width γ and the cost parameter C . the best values for γ and C parameters were 0.1 and 10 respectively.

The SVM classification results showed that the mean overall accuracy of classification was 98.2% and mean Kappa coefficient was 0.97. Classification results were analyzed using cross-tabulation to measure the land cover changes. The non vegetation areas increased 307% from 2000 to 2013 with the greatest increase occurring from 2006 to 2009, and sparse vegetation areas increased 22%, while non vegetation areas decreased 61%. Prediction of future land cover change by the Markov chain model showed that the use of multi-temporal satellite imagery with 3 years interval provided accurate result for predicting peatland cover changes with prediction and actual suitability index of 0.95. The trend of change for non vegetation areas was different from the dense vegetation. The results showed that there was an increment in non vegetation areas. On the other hand, the dense vegetation areas decreased.

Keywords: change detection, markov chain model, remote sensing, support vector machine



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Bogor Agricultural University

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

DETEKSI DAN PREDIKSI PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN GAMBUT KABUPATEN ROKAN HILIR PROVINSI RIAU MENGGUNAKAN SUPPORT VECTOR MACHINE DAN MODEL RANTAI MARKOV

ULFA KHAIRA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Ilmu Komputer
pada
Program Studi Ilmu Komputer

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2015**



Pengguna Luar Komisi pada Ujian Tesis: Dr Eng Wisnu Ananta Kusuma, ST MT

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Judul Tesis : Deteksi dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau Menggunakan *Support Vector Machine* dan Model Rantai Markov
Nama : Ulfa Khaira
NIM : G651130111

Disetujui oleh

Komisi Pembimbing

© Hak cipta milik IPB
Institut Pertanian Bogor)

Dr Imas Sukaesih Sitanggang, SSi MKom
Ketua

Dr Ir Lailan Syaufina, MSc
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Ilmu Komputer

Dekan Sekolah Pascasarjana

Dr Eng Wisnu Ananta Kusuma, ST MT

Dr Ir Dahrul Syah, MScAgr

Tanggal Ujian: 25 Agustus 2015

Tanggal Lulus:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tesis berjudul Deteksi dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau Menggunakan *Support Vector Machine* dan Model Rantai Markov ini dapat diselesaikan.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Dr Imas Sukaesih Sitanggang, SSi MKom dan Ibu Dr Ir Lailan Syaufina, MSc selaku pembimbing yang dengan sabar membimbing serta memberikan masukan kepada penulis. Di samping itu, terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan beasiswa melalui program BPP-DN, serta Kementerian Kehutanan RI dan Wetland International Programme Indonesia sebagai penyedia data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Ayahanda Dr HM Saman Sulaiman, MA dan Ibunda Hj.Darniati yang sampai detik ini selalu memberikan dukungan, semangat, doa, dan curahan kasih sayang yang tiada terhingga, begitu juga dengan kedua adik penulis, Atar Satria Fikri dan Nahratirizka yang menjadi penyemangat bagi penulis untuk selalu melakukan yang terbaik. Kepada teman-teman seperjuangan Annisa, Akbar Sugih, Bang Tengku, Bang Pizaini, Kana, Bu Puspa, Riva, Kak Mulyati, Kak Fuzy, dan Mba Irma terima kasih atas kebersamaan dan dukungannya selama masa studi, semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* selalu menyambungkan tali silaturahmi ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, September 2015

Ulfia Khaira



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vi
1 PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Perumusan Masalah	3
Tujuan Penelitian	3
Manfaat Penelitian	3
Ruang Lingkup Penelitian	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
Lahan Gambut di Provinsi Riau	4
<i>Remote Sensing</i>	4
Sistem Proyeksi	5
Satelit Landsat dan Citra Satelit	6
<i>Support Vector Machine</i>	7
Model Rantai Markov	10
METODE	12
Bahan dan Alat	12
Area Studi	12
Tahapan Penelitian	13
Praproses Citra Satelit	13
Proses Klasifikasi Citra Satelit	15
Analisis Hasil Klasifikasi Citra Satelit	17
Deteksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut	18
Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut	18
4 HASIL DAN PEMBAHASAN	20
Hasil Praproses Citra	20
Klasifikasi Menggunakan SVM	20
Membangun Model Perubahan Tutupan Lahan	23
SIMPULAN DAN SARAN	26
Simpulan	26
Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	30
RIWAYAT HIDUP	34



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR TABEL

1 Karakteristik sensor Landsat TM dan ETM+	6
2 Data citra satelit Landsat yang digunakan	12
3 Jumlah piksel area contoh	16
4 <i>Confusion Matrix</i>	17
5 Akurasi hasil klasifikasi <i>training area</i> untuk masing-masing tahun pengamatan	20
6 Luas tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir untuk masing-masing tahun pengamatan	21
7 Perubahan tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir antara tahun 2000 dan tahun 2013	21
8 <i>Cross-tabulation</i> periode tahun 2000-2009	24
9 Matrik peluang transisi periode tahun 2000-2009	24
10 Hasil prediksi tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir pada tahun 2013	25

DAFTAR GAMBAR

1 Ilustrasi teknik <i>remote sensing</i> (NRCan 2014)	5
2 Sistem koordinat UTM (NGA 2014)	5
3 Tampilan <i>digital number</i> (DN) pada citra (NRCan 2014)	7
4 Ilustrasi citra multispektral (Liu dan Mason 2009)	7
5 Keadaan data yang <i>linearly separable</i> (Schölkopf dan Smola 2002)	8
6 Teknik <i>softmargin</i> dengan variabel <i>slack</i> (Li <i>et al.</i> 2011)	9
7 Transformasi dari vektor <i>input</i> ke <i>feature space</i> (Soman <i>et al.</i> 2009)	10
8 Citra hasil praproses	15
9 Contoh kelas tutupan lahan gambut	16

DAFTAR LAMPIRAN

1 Contoh hasil ekstraksi nilai DN	30
2 Contoh <i>training area</i>	30
3 Nilai <i>error</i> model SVM dari berbagai kombinasi parameter <i>C</i> dan γ untuk citra Landsat tahun 2000	31
4 Rata-rata kesalahan komisi pada tiap tutupan lahan	32
5 Rata-rata kesalahan omisi pada tiap tutupan lahan	32
6 <i>cross-tabulation</i> periode tahun 2006-2009	32
7 Matrik peluang transisi periode tahun 2006-2009	32
8 <i>cross-tabulation</i> periode tahun 2000-2006	33
9 Matrik peluang transisi periode tahun 2000-2006	33



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tutupan hutan sebagai salah satu tolok ukur kondisi hutan terus berkurang sejalan dengan intervensi dan eksploitasi yang dilakukan oleh manusia. Forest Watch Indonesia (FWI) pada tahun 2014 melaporkan beberapa temuan yang menyebabkan Indonesia menjadi negara yang mengalami kehilangan hutan tropis yang tercepat di dunia. Berdasarkan hasil analisis tutupan hutan antara tahun 2009 sampai tahun 2013 terlihat bahwa hutan di Indonesia yang mengalami deforestasi adalah sekitar 4.5 juta ha. Kejadian deforestasi terbesar terjadi di Provinsi Riau yaitu sebesar 690 ribu ha.

Indonesia merupakan negara keempat dengan lahan gambut terluas di dunia, data terkini mengenai luas lahan gambut di Indonesia mencapai 14.905 juta ha (BBSLP 2011). Pada tahun 2013, terdapat sekitar 9 juta ha area yang masih tertutup hutan alam. Pada periode 2009-2013 tercatat sekitar 1.1 juta ha hutan alam di lahan gambut telah hilang. Angka ini sudah lebih dari seperempat luas total kehilangan tutupan hutan alam di seluruh Indonesia. Kehilangan tutupan hutan alam terbesar di lahan gambut selama periode 2009-2013 adalah di Provinsi Riau yaitu sebesar 450 ribu ha (FWI 2014).

Tanah gambut atau tanah organosol adalah tanah yang terbentuk dari akumulasi bahan organik, seperti sisa-sisa jaringan tumbuhan yang berlangsung dalam jangka waktu yang cukup lama. Menurut Nadjiyati *et al.* (2005) tanah gambut adalah tanah yang memiliki kandungan bahan organik lebih dari 65 persen (berat kering) dan ketebalan gambut lebih dari 0.5 m. Tanah gambut umumnya selalu jenuh air atau terendam sepanjang tahun kecuali didrainase. Gambut mempunyai karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh jenis tanah yang lain. Kemampuan tanah gambut menyerap air sangat tinggi. Sebaliknya apabila dalam kondisi yang kering, gambut sangat ringan dengan berat volume yang sangat rendah dan mempunyai sifat hidrofobik (sulit) menyerap air dan akan mengambang apabila terkena air. Pada kondisi demikian gambut dapat mengalami penurunan (*land subsidence*) dan mudah terbakar.

Lahan gambut merupakan salah satu kawasan yang harus dilindungi terutama lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m karena lahan gambut mampu menyimpan karbon (C) dalam jumlah besar. Lahan gambut menyimpan karbon yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tanah mineral. Di daerah tropis karbon yang disimpan tanah dan tanaman pada lahan gambut bisa lebih dari 10 kali karbon yang disimpan oleh tanah dan tanaman pada tanah mineral. Dalam keadaan hutan alami, lahan gambut berfungsi sebagai penambat karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer (Agus dan Subiksa 2008). Besarnya cadangan karbon akan sangat bergantung pada kedalaman gambut itu sendiri. Semakin dalam, cadangan karbon akan semakin banyak. Apabila hutan gambut ditebang dan didrainase maka karbon yang disimpannya akan mudah terdekomposisi dan menghasilkan emisi CO₂ yang merupakan salah satu gas rumah kaca terpenting. Di Indonesia, sektor kehutanan mengemisi gas rumah kaca yang cukup besar, sekitar 48% emisi gas rumah kaca di Indonesia dihasilkan dari sektor kegiatan penggunaan lahan serta alih guna lahan dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbarui sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

kehutanan atau yang dikenal dengan LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) (KLH 2009). Emisi yang lebih besar akan terjadi apa bila terjadi kebakaran karena lahan gambut yang dikonversi menjadi lebih mudah kering dan rawan kebakaran.

Deteksi dan prediksi perubahan tutupan di lahan gambut perlu dilakukan mengingat laju deforestasi di Indonesia yang begitu cepat. Informasi mengenai kondisi kawasan hutan terutama perubahan tutupan lahan merupakan hal yang penting karena data tersebut dapat dijadikan pertimbangan bagi pemerintah untuk menentukan kebijakan mengenai efektivitas dan efisiensi pengelolaan kawasan hutan. Teknologi *remote sensing* (penginderaan jauh) merupakan salah satu alat yang efektif untuk memantau fenomena perubahan yang terjadi secara terus menerus dan dalam area yang luas. Pada *remote sensing*, deteksi perubahan bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi di suatu daerah dengan mengamatinya pada dua waktu yang berbeda (Du *et al.* 2012).

Algoritma klasifikasi *digital* telah digunakan untuk mengklasifikasi tutupan lahan dalam upaya mempersiapkan penggunaan lahan sejak tahun 1972 dengan memanfaatkan citra satelit Landsat. *Support Vector Machine* (SVM) merupakan salah satu algoritma klasifikasi terbimbing yang relatif baru digunakan di bidang *remote sensing*. Mondal *et al.* (2012) melakukan penelitian dengan membandingkan teknik klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) dan *Maximum Likelihood Classification* (MLC) untuk mengidentifikasi jenis tutupan lahan di wilayah Cuttack dan Jajpur India menggunakan citra satelit. Dari hasil penelitian, metode SVM memberikan akurasi rata-rata 88% dan metode MLC menghasilkan akurasi rata-rata 78%. Huang *et al.* (2002) juga melakukan penelitian mengenai perbandingan teknik klasifikasi untuk identifikasi tutupan lahan di wilayah timur Maryland USA yaitu membandingkan teknik SVM, MLC, *Neural Network Classification* (NNC), dan *Decision Tree Classifier* (DTC), hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik SVM memberikan hasil akurasi yang lebih stabil. Pada penelitian ini akan dilakukan pengklasifikasian tutupan lahan gambut menggunakan SVM berdasarkan nilai *digital number* (DN). Deteksi perubahan lahan dapat dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi jenis tutupan lahan dua citra satelit pada daerah yang sama dan diambil pada waktu yang berbeda.

Setelah mengetahui seberapa besar perubahan yang terjadi pada tutupan lahan maka dapat dilakukan prediksi mengenai *trend* perubahan tutupan lahan di masa depan. Salah satu model yang sering digunakan dalam memprediksi perubahan tutupan lahan adalah model rantai Markov. Model ini digunakan untuk mempelajari perubahan dinamis pada vegetasi dan tutupan lahan pada berbagai macam zona ekologi (Balzter 2000). Akan tetapi model ini sangat bergantung pada interval waktu di mana matrik peluang berasal. Penggunaan model rantai Markov untuk prediksi perubahan penggunaan lahan urban di Jordania memberikan hasil yang baik dengan indeks kesesuaian prediksi dan aktual sebesar 0.982 untuk citra satelit dengan interval waktu 9 tahun (Al-Bakri *et al.* 2013). Penelitian ini menggunakan metode SVM untuk mengklasifikasi jenis tutupan lahan dan model rantai Markov untuk membentuk model prediksi perubahan tutupan lahan gambut Kabupaten Rokan Hilir Provinsi Riau dengan interval waktu 3 tahun, 6 tahun, dan 9 tahun.



Perumusan Masalah

Masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah menghitung seberapa besar perubahan tutupan di lahan gambut sangat dalam di Kabupaten Rokan Hilir, serta memprediksi distribusi luas tutupan lahan di masa depan dengan menggunakan model rantai Markov.

Tujuan Penelitian

- Tujuan dari penelitian ini adalah :
- a. Menentukan dan menganalisis perubahan tutupan lahan gambut di Kabupaten Rokan Hilir dengan memanfaatkan citra satelit.
 - b. Membangun model prediksi perubahan tutupan lahan gambut menggunakan model rantai Markov.

Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

Memberikan informasi mengenai luas area lahan gambut yang beralih fungsi menjadi tutupan lahan lainnya dan prediksi perubahan tutupan lahan di hutan gambut di masa mendatang.

Memberikan acuan bagi pemerintah untuk menentukan kebijakan-kebijakan mengenai efektivitas dan efisiensi pengelolaan kawasan gambut.

Ruang Lingkup Penelitian

Untuk membatasi lingkup penelitian agar pembahasan berfokus pada tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan ruang lingkup dan batasan sebagai berikut:

- 1. Interval waktu data citra satelit untuk membuat model prediksi perubahan tutupan lahan adalah 3 tahun (2006-2009), 6 tahun (2000-2006), dan 9 tahun (2000-2009).
- 2. Fungsi kernel yang digunakan untuk klasifikasi dengan algoritme SVM adalah fungsi *Radial Basis Function* (RBF).
- 3. Model rantai Markov yang digunakan adalah model rantai Markov orde satu.
- 4. Wilayah kajian adalah lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Lahan Gambut di Provinsi Riau

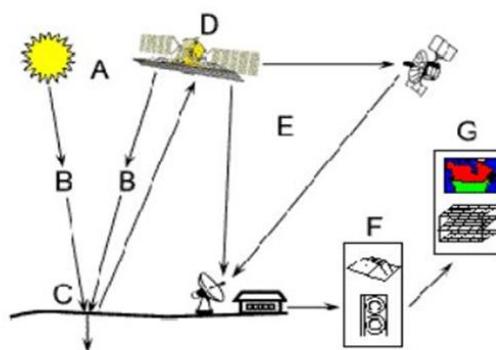
Lahan gambut merupakan salah satu sumber daya alam yang mepunyai fungsi hidrologi dan fungsi lingkungan lain yang penting bagi kehidupan dan penghidupan manusia serta mahluk hidup lainnya (Wahyunto *et al.* 2005). Gambut terbentuk dari bahan-bahan organik, seperti dedaunan, batang dan cabang serta akar tumbuhan, yang terakumulasi dalam kondisi lingkungan yang tergenang air. Lahan gambut memiliki manfaat di antaranya sebagai penyimpan air, penyangga lingkungan, lahan pertanian, dan memiliki kemampuan untuk menyimpan dan menyerap karbon dalam jumlah yang cukup besar sehingga dapat membatasi lepasnya gas rumah kaca ke atmosfer (Adinugroho *et al.* 2005). Indonesia memiliki lahan gambut sekitar 10.8% dari luas daratan Indonesia, sebagian besar terdapat di pulau Sumatera yaitu 35%, Kalimantan 32%, dan Papua 30%.

Luas total lahan gambut di Pulau Sumatera pada tahun 2011 adalah sekitar 6.4 juta ha atau 14.4% dari luas seluruh daratan Pulau Sumatera. Provinsi Riau merupakan Provinsi yang memiliki lahan gambut terluas di Pulau Sumatera yaitu sekitar 3.8 juta ha atau 60 % dari luas lahan gambut di Pulau Sumatera (BBSSDLP 2011). Lahan gambut di Pulau Sumatera mempunyai tingkat kematangan *Fibrists* (belum melapuk), *Hemists* (setengah melapuk), *Saprists* (sudah melapuk) dan campuran ketiganya. *Fibrists* merupakan jenis lahan gambut di mana terdiri atas 1/3 bahan asal yang sudah terdekomposisi dan 2/3 lainnya terdiri atas bahan asli yang bisa dilihat, *saprists* merupakan jenis lahan gambut dimana terdapat 2/3 bagian dalam keadaan terdekomposisi dan sisanya masih bisa diamati, *hemists* merupakan jenis lahan gambut dimana komposisinya diantara *fibrik* dan *saprik* (Syaufina 2008). Ketebalan gambut di Provinsi Riau bervariasi mulai dari dangkal (50-100 cm) seluas 509.209 ha, sedang (100-200 cm) seluas 908.553 ha, dalam (200-400 cm) 838.538 ha, dan sangat dalam (400-800 cm) seluas 1.611.114 ha (BBSSDLP 2011).

Remote Sensing

Menurut Lillesand dan Kiefer (1994), *remote sensing* (penginderaan jauh) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan fenomena yang dikaji. Sistem *remote sensing* terdiri atas dua proses utama yaitu pengumpulan data dan analisis data. Elemen proses pengumpulan data meliputi : (a) sumber energi, (b) perjalanan energi melalui atmosfer, (c) interaksi antara energi dengan objek di muka bumi, (d) sensor wahana atau satelit, (e) hasil pembentukan data dalam bentuk vektor atau numerik. Proses analisis data, (f) meliputi pengujian data dengan komputer untuk menganalisis data sensor numerik, hasil dari proses analisis data ini adalah suatu informasi mengenai bentangan, lokasi, dan kondisi berbagai sumberdaya alam. Informasi ini kemudian disajikan dalam bentuk (g) peta. Hasil informasi yang khusus misalnya peta penggunaan lahan diperuntukan bagi (h) pengguna yang memanfaatkannya untuk proses pengambilan keputusan. Contoh tampilan pengamatan teknik *remote sensing* dengan satelit disajikan pada Gambar 1.

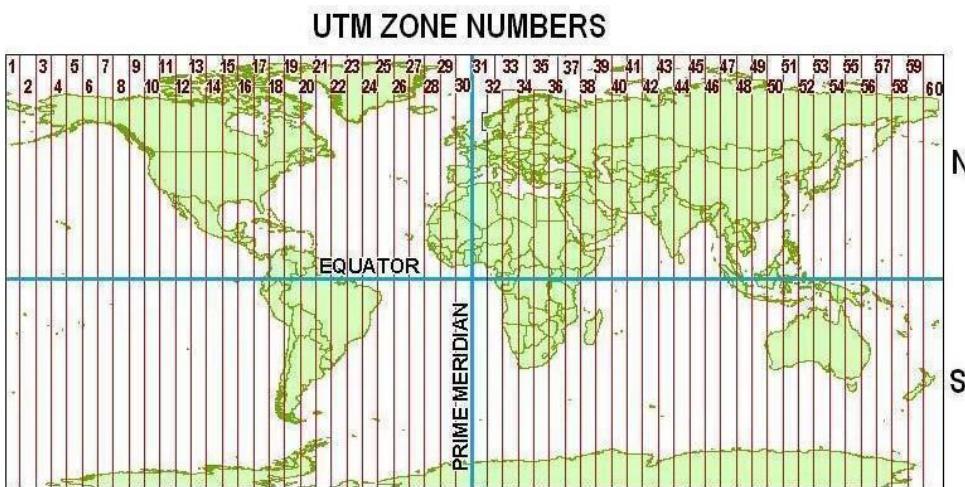
Tujuan utama dari penginderaan jauh ialah mengumpulkan data sumberdaya alam dan lingkungan.



Gambar 1 Ilustrasi teknik *remote sensing* (NRCan 2014)

Sistem Proyeksi

Bentuk bumi berupa ruang 3D yang melengkung menyerupai ellipsoid, untuk merepresentasikan bentuk dalam bidang datar (2D) perlu dilakukan transformasi dengan menggunakan proyeksi peta, sistem koordinat serta datum. Proyeksi peta adalah prosedur matematis yang memungkinkan hasil pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi fisis bisa digambarkan di atas bidang datar (peta). Sistem koordinat merupakan bilangan yang dipakai untuk menunjukkan lokasi suatu titik, garis, permukaan atau ruang. Informasi lokasi ditentukan berdasarkan sistem koordinat yang diantaranya mencakup datum dan proyeksi peta. Datum merupakan titik referensi di permukaan bumi berikut model asosiasi yang matematis dimana perhitungan koordinat dilakukan. Datum WGS 1984 paling umum digunakan saat ini yang dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat untuk menggantikan WGS72. Pengukuran GPS juga menggunakan datum dan sistem proyeksi ini. Datum ini menyediakan suatu kerangka kerja untuk pengukuran lokasi seluruh dunia.



Gambar 2 Sistem koordinat UTM (NGA 2014)

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Secara umum, terdapat dua jenis sistem koordinat yang sering digunakan khususnya di Indonesia, yaitu Universal Transverse Mercator (UTM) (X-Y) dan sistem geografis (Latitude-Longitude). UTM mendasarkan proyeksinya pada grid-grid yang membagi dunia dalam beberapa zona, 01 sampai 60 dengan satuan meter, dengan panjang X meter dan lebar Y meter, koordinat ditentukan dari titik nol meter untuk setiap zona grid tertentu (Gambar 2). Sistem koordinat geografis membagi bumi menjadi 360 bagian. Bumi dibagi-bagi menjadi bagian lintang dan bujur dengan satuan derajat. Tiap bagian bernilai satu derajat dan titik nol derajat sebagai datum adalah di Greenwich (Chang KT 2006).

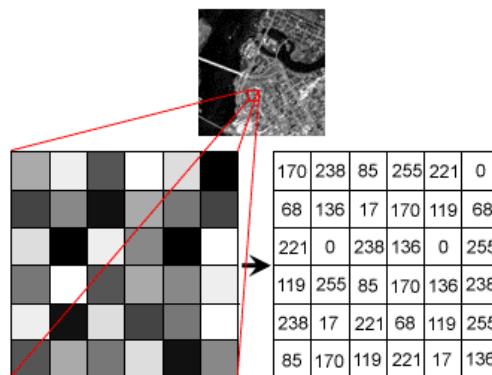
Satelit Landsat dan Citra Satelit

Landsat merupakan suatu hasil program sumberdaya bumi yang dikembangkan oleh NASA (*the National Aeronautical and Space Administration*) Amerika Serikat pada awal tahun 1970-an. Landsat diluncurkan pertama kali pada tanggal 22 Juli 1972 sebagai ERTS-I (*Earth Resources Technology Satellite*) yang kemudian diganti nama menjadi Landsat I. Hingga saat ini NASA telah mengeluarkan delapan seri satelit. Satelit terbaru yang diluncurkan oleh NASA adalah Landsat 8. Pada penelitian ini menggunakan citra dari satelit Landsat 5 TM dan Landsat 7 ETM+. Satelit ini berorbit sirkular dan *sunsynchronous* (melintasi garis equator setiap hari pada waktu lokal yang sama) dengan sudut inklinasi antara 98.2° hingga 99.1° , ketinggian 705 km di atas equator, periode orbit setiap 99 menit, dapat mencapai lokasi yang sama setiap 16 hari dan berasolusi radiometrik 8-bit (DN) (NASA 2013).

Tabel 1 Karakteristik sensor Landsat TM dan ETM+

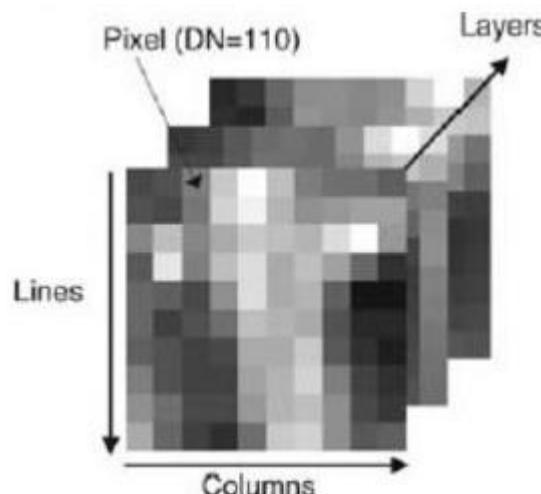
Band	Resolusi	Keterangan	Spektral (μm)
1	30 m	Blue	0.441-0.514
2	30 m	Green	0.519-0.601
3	30 m	Red	0.631-0.692
4	30 m	NIR	0.772-0.898
5	30 m	SWIR-1	1.547-1.749
6	120 m (TM) 60 m (ETM+)	Thermal IR	10.40-12.50
7	30 m	SWIR	2.08-2.35

Citra merupakan representasi dua dimensi dari suatu objek di dunia nyata. Citra digital adalah *array* angka-angka dalam bentuk dua dimensi. Setiap sel citra digital disebut piksel yang nilainya koordinatnya diketahui dan nilai intensitasnya (radiasi elektromagnetik) diwakili oleh suatu angka (*digital number [DN]*) yang merepresentasikan tingkat kecerahan masing-masing piksel penyusun citra tersebut. Masing-masing piksel terkait secara spasial dengan area di permukaan bumi. Struktur *array* ini tersusun dalam baris horizontal yang disebut baris (*lines*) dan kolom vertikal (*samples*).



Gambar 3 Tampilan *digital number* (DN) pada citra (NRCan 2014)

Citra digital dapat memiliki dimensi ketiga yang disebut dengan layer. Layer adalah suatu citra yang sama tetapi memiliki informasi yang berbeda dengan informasi pada layer-layer lainnya. Pada citra satelit layer yang divisualisasikan secara multispektral, layer berupa saluran atau band yang berbeda dari citra yang sama (Gambar 4) (Liu dan Mason 2009).



Gambar 4 Ilustrasi citra multispektral (Liu dan Mason 2009)

Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) merupakan prosedur pembelajaran konstruktif yang universal yang berbasis teori pembelajaran statistik. Istilah “universal” berarti bahwa SVM dapat digunakan untuk mempelajari beragam representasi, seperti jaringan saraf (dengan fungsi aktivasi *sigmoid* biasa), *radial basis function*, dan *spline*. SVM mengombinasikan empat konsep berbeda, yaitu implementasi baru dari prinsip induktif *Structural Risk Minimization* (SRM), pemetaan data masukan ke ruang dimensi tinggi, fungsi linear dengan kendala pada kompleksitas, dan dualitas teori optimisasi (Cherkassky dan Mulier 2007).

SVM akan mencari *hyperplane* (bidang pemisah) terbaik yang memisahkan data dari suatu permasalahan. Menurut Osuna *et al.* (1997), suatu

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

data dikatakan *linearly separable* (dapat dipisahkan secara linear) jika untuk permasalahan tersebut dapat dicari pasangan (\mathbf{w}, b) sedemikian sehingga:

$$\mathbf{X}_i \cdot \mathbf{w} + b \geq 1, \forall \mathbf{X}_i \in \text{kelas } 1 \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_i \cdot \mathbf{w} + b \leq -1, \forall \mathbf{X}_i \in \text{kelas } 2 \quad (2)$$

Ruang hipotesis adalah set fungsi yang diberikan oleh

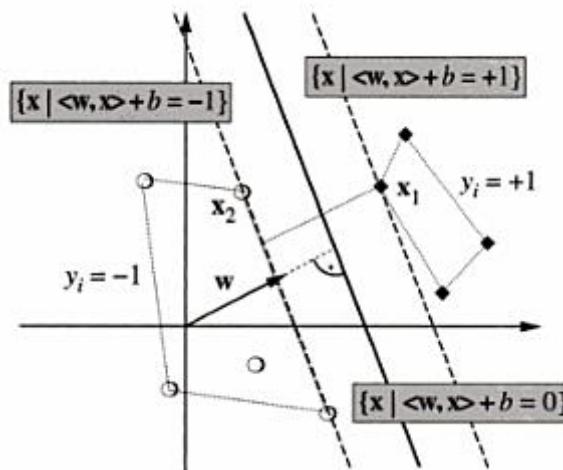
$$f_{w,b} = \text{sign}(\mathbf{X} \cdot \mathbf{w} + b) \quad (3)$$

dengan,

\mathbf{X}_i = data set

\mathbf{w} = vektor bobot yang tegak lurus terhadap *hyperplane* (bidang normal)

b = Menentukan lokasi fungsi pemisah relatif terhadap titik asal



Gambar 5 Keadaan data yang *linearly separable* (Schölkopf dan Smola 2002)

Gambar 5 menunjukkan kondisi suatu data yang *linearly separable*. Pada gambar tersebut, terdapat sebuah *hyperplane* yang memisahkan data di kelas +1 (kotak) dengan data di kelas -1 (lingkaran). Terdapat pula *margin*, yaitu jarak antara *hyperplane* dengan elemen terluar dari kedua kelas. Bidang pemisah terbaik adalah bidang pemisah yang menghasilkan nilai *margin* terbesar. Secara matematika, mencari bidang pemisah terbaik ekuivalen dengan memaksimalkan margin antara dua kelas yang dihitung dengan formula $\frac{2}{\|\mathbf{w}\|^2}$. Memaksimalkan margin antara kedua kelas sama dengan meminimumkan fungsi tujuan $\frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2$ dengan memperhatikan pembatas $y_i(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i + b) \geq 1$ di mana \mathbf{x}_i adalah data input dan y_i adalah keluaran dari data \mathbf{x}_i . Selanjutnya masalah klasifikasi diformulasikan ke dalam *quadratic programming (QP) problem*, yaitu mencari titik minimal persamaan 4, dengan memperhatikan *constraint* persamaan 5.

$$\text{Min} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 \quad (4)$$

$$y_i(\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i + b) \geq 1, \forall i \quad (5)$$

problem ini dapat dipecahkan dengan *Lagrange multiplier*:

$$L(\mathbf{w}, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i (\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}_i + b - 1) \quad (6)$$

di mana α_i adalah Lagrange multipliers yang berkorespondensi dengan x_i , data yang berkorelasi dengan α_i yang positif inilah yang disebut sebagai *support vector*.

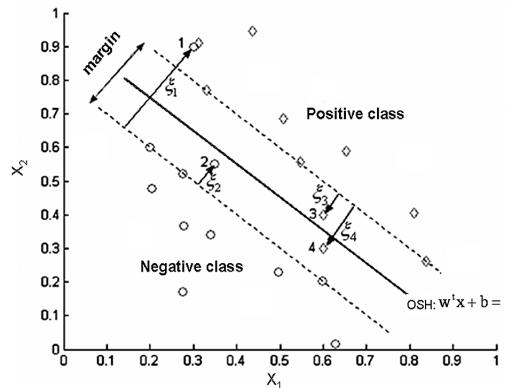
Penjelasan di atas berdasarkan asumsi bahwa kedua belah kelas dapat dipisahkan secara sempurna oleh *hyperplane*. Akan tetapi, umumnya dua buah kelas pada *input space* tidak terpisah secara sempurna. Di dalam kasus yang tidak *feasible* di mana beberapa data mungkin tidak bisa dikelompokkan secara benar, untuk mengatasi masalah ini, SVM dirumuskan ulang dengan memperkenalkan teknik *softmargin* (Gambar 6). Dalam *softmargin*, persamaan 5 dimodifikasi dengan memasukkan variabel *slack* ζ_i ($\zeta_i > 0$). Sehingga formula matematikanya menjadi berikut:

$$y_i(wx_i + b) \geq 1 - \zeta_i, \forall i \quad (7)$$

dengan demikian persamaan 4 diubah menjadi :

$$\text{Min } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l \zeta_i \quad (8)$$

Penggunaan variabel *slack* ζ_i adalah untuk mengatasi ketidaklayakan (*infeasibility*) dari pembatas $y_i(wx_i + b) \geq 1$ dengan cara memberi pinalti untuk data yang tidak memenuhi pembatas tersebut. Untuk meminimalkan nilai ζ_i ini, diberikan nilai pinalti dengan menerapkan konstanta ongkos C . Nilai C yang besar berarti akan memberikan pinalti yang lebih besar terhadap error klasifikasi tersebut (Christianini dan Taylor 2000).



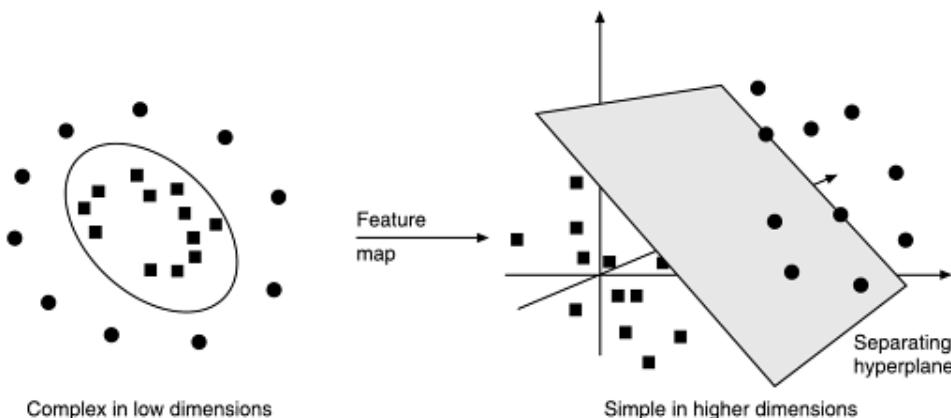
Gambar 6 Teknik *softmargin* dengan variabel *slack* (Li et al. 2011)

SVM dirancang tidak hanya untuk dapat menyelesaikan permasalahan linear, tetapi juga permasalahan non-linear. Agar permasalahan non-linear dapat diselesaikan, permasalahan tersebut dapat dipetakan ke dalam ruang ciri berdimensi lebih tinggi, kemudian diterapkan klasifikasi linear dalam ruang tersebut (Gambar 7). Tepatnya, variabel input \mathbf{x} dipetakan ke dalam vektor variabel ciri $\phi(\mathbf{x})$ dengan fungsi transformasi $\mathbf{x} \rightarrow \phi(\mathbf{x})$. Fungsi yang memetakan suatu permasalahan non-linear ke dalam ruang ciri yang lebih tinggi disebut dengan fungsi *kernel*, $K(\mathbf{x}, \mathbf{y})$. Terdapat tiga *kernel* yang biasa digunakan dalam SVM, yaitu sebagai berikut (Osuna et al. 1997).

Polinomial dengan derajat d : $K(x, y) = (1 + x * y)^d$

Gaussian Radial Basis Function (RBF) : $K(x, y) = \exp(-\gamma \|x - y\|^2)$

- Multi Layer Perceptron (untuk beberapa nilai θ): $K(x, y) = \tanh(x * y - \theta)$



Gambar 7 Transformasi dari vektor *input* ke *feature space* (Soman *et al.* 2009)

Pada awalnya, SVM didesain untuk melakukan klasifikasi biner, dengan kata lain hanya dapat menangani data yang memiliki dua kelas. Proses klasifikasi SVM diawali dengan memodifikasi fungsi SVM, agar dapat digunakan untuk menangani data yang memiliki banyak kelas. Teknik perluasan fungsionalitas yang digunakan ialah SVM *one-versus-one*. Dengan teknik ini, dapat dibangun SVM sebanyak jumlah kelas yang ada. Dengan metode SVM *one-versus-one* perlu menemukan $k(k-1)/2$ fungsi pemisah dimana setiap fungsi ditrain dengan data dua kelas. Misalkan punya persoalan 3 kelas, terdapat tiga fungsi pemisah yaitu ρ^{12} , ρ^{13} , ρ^{23} . Ketika melatih ρ^{12} , semua data dari kelas 1 diberi label +1 dan semua data dari kelas 2 diberi label -1. Pendekatan yang sama dipakai untuk melatih ρ^{13} , ρ^{23} . Setelah semua fungsi pemisah $k(k-1)/2$ ditemukan, salah satu strategi yang digunakan untuk melakukan testing untuk data baru adalah *max-voting*.

Berdasarkan strategi *max-voting*, untuk pemisah ρ^{ij} , jika tanda dari suatu data *point* x adalah di kelas i , kemudian *voting* untuk kelas i ditambah satu. Sebaliknya, *voting* untuk kelas j ditambah satu. Ulangi langkah ini untuk semua fungsi pemisah. Kita dapat memprediksi x berada dalam kelas mana berdasarkan pada nilai *voting* yang paling tinggi. Jika terdapat dua kelas dengan nilai *voting* yang sama, maka pilih yang indeksnya lebih kecil (Santosa dan Trafalis 2005).

Model Rantai Markov

Rantai Markov sebenarnya merupakan bentuk khusus dari model probabilitas yang lebih umum dikenal sebagai suatu model stokastik, diperkenalkan oleh matematikawan Rusia bernama A A Markov pada awal abad ke-20. Rantai Markov digunakan untuk menghitung probabilitas perubahan-perubahan yang terjadi berdasarkan probabilitas perubahan selama periode waktu tertentu. Masalah dasar dari metode stokastik dengan proses Markov adalah menentukan deskripsi *state* yang sesuai, sehingga proses stokastik yang berpaduan akan benar-benar memiliki apa yang akan disebut sifat Markov (*Markovian*

property), yaitu pengetahuan terhadap *state* ini adalah cukup untuk memprediksi perilaku stokastik yang akan datang (Mangku 2005).

Suatu rantai Markov dikatakan diskret (*discrete time Markov chain*) jika ruang dari proses Markov tersebut adalah himpunan terbatas (*finite*) atau tercacaah (*countable*), dengan himpunan indeks adalah $T = (0, 1, 2, \dots)$. Jika nilai suatu *state* pada periode tertentu hanya bergantung pada satu periode sebelumnya, maka rantai tersebut disebut rantai Markov orde satu (*first order Markov chain*) dan jika nilai suatu *state* pada periode tertentu bergantung pada periode sebelumnya, maka rantai tersebut disebut rantai Markov orde m (*m order Markov chain*). Rantai Markov orde satu secara matematika dirumuskan sebagai berikut (Ching dan Ng 2006).

$$P\{X_{n+1} = j | X_n = i\} \quad (9)$$

Adapun rantai Markov orde m (*m order Markov chain*) secara matematika dirumuskan sebagai berikut (Ching dan Ng 2006).

$$P\{X_{n+1} = j | X_{(n+1)-m} = i_1, X_{(n+1)-m+1} = i_2, \dots, X_n = i_n\} \quad (10)$$

Model rantai markov atau *Markov Chain* merupakan model yang merepresentasikan peluang suatu kejadian pada suatu waktu yang bergantung pada kejadian waktu sebelumnya (Ching dan Ng 2006). Penelitian ini menggunakan *first order Markov chain* untuk memprediksi distribusi tutupan di lahan gambut. Berdasarkan konsep *first order Markov chain* di mana semua keadaan yang berada pada saat sekarang memberikan pengaruh pada kondisi di masa depan, sehingga dengan mengacu pada kondisi saat ini, dapat dilakukan peramalan keadaan di masa yang akan datang. Hal ini menunjukkan bahwa rantai Markov memiliki sifat kebergantungan yang memungkinkan untuk memodelkan perubahan lahan.

Rantai Markov memiliki suatu peluang yang bersifat stasioner, peluang untuk perpindahan antar keadaan pada satu rentang waktu ditampilkan dalam matrik peluang transisi. Bila sistem bersifat stasioner, maka peluang perubahan dalam satu periode waktu yang sama, besar peluang perubahannya selalu tetap. Matrik peluang transisi merupakan sebuah matrik stokastik dengan penjumlahan elemen matrik pada setiap barisnya sama dengan satu. Setiap elemen matrik harus bernilai positif yang berada pada rentang $[0,1]$. Berikut merupakan ilustrasi dari matrik peluang transisi, di mana P_{ij} merupakan besar peluang untuk berubah dari keadaan i ke keadaan j .

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Analisa rantai Markov hampir sama dengan *decision analysis*, bedanya analisa rantai Markov tidak memberikan keputusan rekomendasi, melainkan hanya informasi probabilitas mengenai situasi keputusan yang dapat membantu pengambil keputusan mengambil keputusan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

3 METODE

Bahan dan Alat

Data dan informasi yang dipergunakan sebagai bahan penelitian ini dihimpun dari website <http://earthexplorer.usgs.gov>. Data multi temporal terdiri atas tiga citra Landsat 5 TM dan dua citra Landsat 7 ETM+ dengan path/row 127/059. Serta peta penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hilir yang bersumber dari Kementerian Kehutanan Republik Indonesia dan data sebaran lahan gambut di pulau Sumatera yang bersumber dari Wetlands International Programme Indonesia. Keseluruhan data spasial tersebut menggunakan sistem referensi spasial WGS84.

Tabel 2 Data citra satelit Landsat yang digunakan

Citra	Satelit	Tanggal Akuisisi
2000	Landsat 5TM	18 April 2000
2004	Landsat 5TM	03 Agustus 2004
2006	Landsat 5TM	09 Agustus 2006
2009	Landsat 7ETM+	24 Juli 2009
2013	Landsat 7ETM+	21 September 2013

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

Perangkat keras berupa komputer personal dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Processor Intel Core i5-450M
- RAM 4 GB
- Harddisk 1 Terabyte

Perangkat lunak:

- Sistem operasi Windows 8.1
- R sebagai bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengolah data.
- Quantum GIS 2.6.0 untuk praproses citra satelit.

Area Studi

Area studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Memiliki luas wilayah 8.881,59 km² atau 888159 ha, terletak pada koordinat 1° 14' – 2° 45' LU dan 100° 17' – 101° 21' BT secara geografis Rokan Hilir berbatasan dengan Selat Malaka (Utara), Kabupaten Rokan Hulu dan Bengkalis (Selatan), Provinsi Sumatera Utara (Barat), dan Kota Dumai (Timur) (Pemerintah Kabupaten Rokan Hilir 2009). Fokus Penelitian ini adalah kecamatan di Kabupaten Rokan Hilir yang memiliki lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas empat pekerjaan utama (Bagan 1) : praproses citra satelit, proses klasifikasi citra satelit, analisis hasil klasifikasi citra satelit (deteksi perubahan tutupan lahan gambut), dan membuat model prediksi perubahan penutupan lahan gambut.

Praproses Citra Satelit

1. Registrasi Citra

Registrasi merupakan penyamaan posisi citra satu dengan lainnya untuk lokasi yang sama, penyamaan posisi ini kebanyakan dimaksud agar posisi piksel yang sama dapat dibandingkan (Jaya 2010). Registrasi citra dilakukan dengan mentransformasi koordinat citra yang semula mempunyai proyeksi UTM 47 N yang memiliki satuan meter menjadi proyeksi Geographic Lat/Lon yang memiliki satuan derajat. Keseluruhan data spasial tersebut menggunakan sistem referensi spasial WGS84. Persentase tutupan awan pada citra Landsat yang digunakan pada penelitian ini kurang dari 20%.

Koreksi Radiometrik

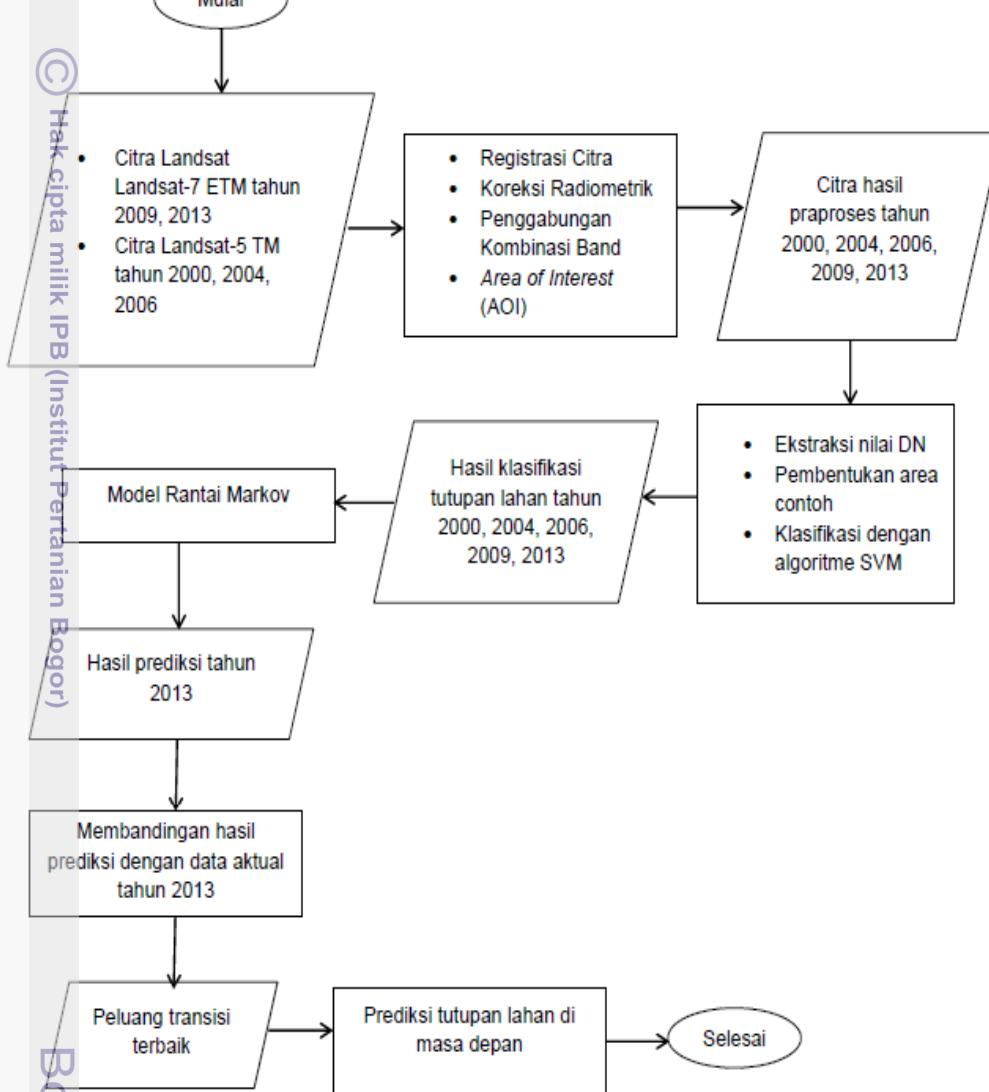
Koreksi radiometrik adalah koreksi pada citra yang ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel supaya sesuai dengan yang seharusnya yang biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Pada tanggal 31 Mei 2003 instrumen/sensor *Scan Line Corrector* (SLC) di ETM + mengalami kerusakan. Semua citra yang diambil setelah tanggal tersebut memiliki celah/gap, sehingga ada data yang hilang sekitar 20%. Salah satu cara untuk meminimilisasi gap tersebut adalah dengan mengisi gap citra landsat utama dengan citra landsat yang lain, yang memiliki bagian gap yang berbeda. Untuk citra pengisinya, sebaiknya diambil citra pada tahun yang sama tapi bulan pemotretannya yang berbeda. Proses pengisian gap ini dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Frame and Fill yang merupakan *software open source* dari NASA.

3. Penggabungan Kombinasi Band

Citra komposit adalah kombinasi antar band yang memiliki resolusi spektral berbeda dan resolusi spasial sama. Resolusi spektral merujuk pada batas-batas spektral, domain, atau lebar band (radiasi elektromagnetik) yang direkan oleh sistem sensor satelit yang bersangkutan. Resolusi spasial merujuk pada ukuran objek terkecil yang terdapat di permukaan bumi yang dapat dikenali. Resolusi spasial ini dibatasi oleh ukuran piksel, dimana pada penelitian ini 1 piksel berukuran 30×30 m. Tujuan dari citra komposit adalah untuk mendapatkan tampilan visual yang optimal untuk identifikasi penggunaan lahan. Pada penelitian ini digunakan kombinasi band 5 (SWIR), band 4 (NIR), dan band 3 (*red*) yang mengacu pada standar dari Kementerian Kehutanan untuk analisis hutan dan vegetasi. Band 5 sangat sensitif terhadap kelembaban, oleh karena itu dapat digunakan untuk memonitor kelembaban tanah dan vegetasi. Band 4 sangat baik untuk mengidentifikasi kelas vegetasi, dan band 3 merupakan band penyerap hampir semua cahaya merah sehingga band ini dikenal sebagai band penyerap

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

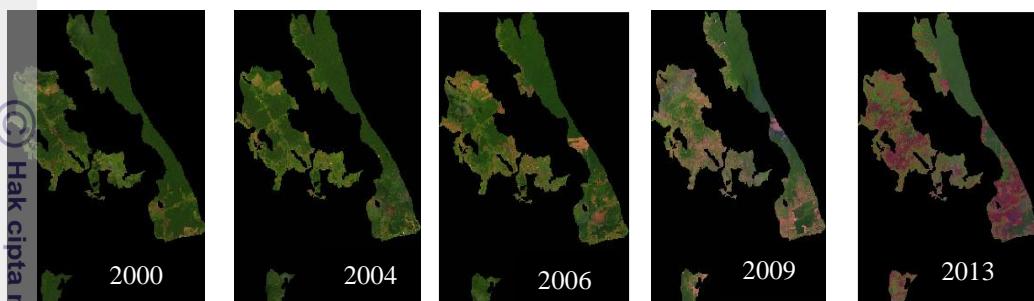


Bagan 1 Tahapan penelitian

4. Penentuan *Area of Interest* (AOI)

Penentuan wilayah penelitian (*cropping/subset image*) dilakukan untuk membatasi wilayah penelitian. Pemotongan citra dilakukan sesuai dengan ukuran lokasi penelitian yang mengacu pada peta referensi yaitu peta lahan gambut Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Pemotongan citra dilakukan dengan memotong citra yang sudah terkoreksi pada lokasi penelitian menggunakan software Quantum GIS 2.6.0. Pada penelitian ini area studi difokuskan pada

kecamatan yang memiliki lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 4 m yaitu kecamatan Bagan Sinembah, Bangko, Bangko Pusako, Batu Hampar, Kubu, Pujud, Rimba Melintang, Sinaboi, Tanah Putih, dan Tanah Putih Tanjung Melawan. Dari hasil pemotongan didapat citra berdimensi 2682×3599 . Gambar 8 merupakan citra hasil praproses.



Gambar 8 Citra hasil praproses

Proses Klasifikasi Citra Satelit

Ekstraksi Nilai DN (*Digital Number*) Band Tiap Piksel

Citra *Multispectral* dalam format .tif, terdiri atas tiga layer. Masing-masing layer tersebut mewakili nilai dari band 5, 4, dan 3 dari setiap *pixel* pada citra. Sehingga untuk setiap piksel nya akan didapat vektor berukuran 1×3 . Contoh dari hasil ekstraksi nilai DN dapat dilihat pada Lampiran 1.

Pembentukan Area Contoh

Dalam tahapan ini analisis mengidentifikasi area contoh yang mewakili dari setiap penutupan lahan yang diinginkan dan membangun suatu deskripsi numerik dari setiap spektral tiap penutupan lahan tersebut (Lillesand dan Kiefer 1994). Tahap terpenting dalam klasifikasi terbimbing ini adalah tahap penamaan piksel (*labelling*) yang diperoleh dari data *training area* (area contoh). Jumlah *training area* yang dibuat adalah sebanyak jumlah kategori atau kelas yang didefinisikan. Secara teori jumlah piksel yang diambil untuk mewakili masing-masing kelas adalah sebanyak band (N) yang digunakan ditambah satu (N+1) (Jaya 2010). Pada praktiknya dianjurkan jumlah piksel per kelasnya sebanyak $10N$, dan bahkan $100N$. Sebagai contoh, jika pada waktu klasifikasi menggunakan 3 *band* sekaligus, misalnya band 543, maka jumlah minimum piksel per kelasnya adalah 10×3 . Citra Landsat merupakan citra resolusi rendah sehingga tutupan lahan yang dapat diidentifikasi terdiri dari tiga kelas yaitu vegetasi rapat, vegetasi jarang, dan non vegetasi. Area contoh diambil berdasarkan kenampakan visual pada display monitor, di mana vegetasi rapat ditandai dengan warna hijau tua, vegetasi jarang berwarna hijau muda, dan non vegetasi ditandai dengan warna cokelat-merah. Vegetasi rapat pada penelitian ini adalah hutan alam dan hutan tanaman industri yang didominasi oleh vegetasi pohon dengan penutupan tajuk yang berat, sedangkan vegetasi jarang adalah lahan pertanian, perkebunan, dan semak belukar. Area non vegetasi merupakan area yang tidak memiliki tutupan vegetasi seperti tanah terbuka, pertambangan dan pemukiman. Gambar 9 merupakan contoh kelas

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 9 Contoh kelas tutupan lahan gambut

Tabel 3 Jumlah piksel area contoh

Kelas Tutupan Lahan	Jumlah piksel
Vegetasi Rapat	600
Vegetasi Jarang	1500
Non Vegetasi	900

3. Klasifikasi Terbimbing Menggunakan SVM

Klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) pada dasarnya dilakukan dengan menetapkan beberapa *training area* yang mewakili kelas tutupan lahan yang ada, kemudian bedasarkan statistik daerah contoh tersebut seluruh piksel dikelaskan. Dalam klasifikasi terbimbing terdapat tiga tahapan yaitu : tahap pembentukan *training area*, tahap klasifikasi, dan tahap keluaran (*output*). Prinsip kerjanya membandingkan tiap piksel yang tidak dikenal terhadap pola spektral contoh kelas yang telah dibuat dalam tahap latihan.

Penelitian ini menggunakan metode SVM *one-versus-one*. Implementasi proses pelatihan dan pengujian model SVM menggunakan *library LIBSVM e1071* dengan *C-classification* (Meyer *et al.* 2014) pada bahasa pemrograman R. Fungsi kernel yang digunakan adalah RBF dengan optimasi parameter *C* dan γ menggunakan metode *grid search* pada rentang 10^{-1} - 10^1 untuk parameter *C* dan 10^{-6} - 10^1 . Metode *grid search* digunakan untuk estimasi parameter, prinsip kerjanya dengan membagi jangkauan parameter yang akan dioptimalkan ke dalam *grid* (rentang nilai) dan melintasi semua titik untuk mendapatkan parameter yang optimal. Kinerja metode *grid search* diukur dengan *cross-validation* pada data *training*. Pada metode *grid-search* ini nilai *k-fold* yang digunakan adalah sebesar *10-fold*. Pasangan parameter yang menghasilkan akurasi terbaik yang didapatkan dari uji *cross-validation* merupakan parameter yang optimal. Parameter optimal tersebut selanjutnya digunakan saat pembentukan model (tahap pelatihan) SVM. Setelah itu, model SVM tersebut digunakan untuk mengklasifikasi data *testing*.

cross-validation adalah pengujian standar yang dilakukan untuk memprediksi *error rate*. *Data training* dibagi secara random ke dalam *k*-subset dengan perbandingan yang sama. Kemudian secara bertahap akan dilakukan

pelatihan dan validasi sebanyak k ulangan. Setiap ulangan disisakan satu subset untuk pengujian, dan sisanya digunakan untuk pelatihan.

Analisis Hasil Klasifikasi Citra Satelit

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix* yang merupakan sebuah tabel yang terdiri atas banyaknya baris data uji yang diprediksi benar dan tidak benar oleh sistem klasifikasi, yang digunakan untuk menentukan kinerja suatu model klasifikasi (Tan *et al* 2006). Evaluasi hasil klasifikasi yang dapat dihitung berdasarkan *confusion matrix* diantaranya adalah kesalahan komisi, kesalahan omisi, akurasi keseluruhan dan koefisien kappa. Bentuk *confusion matrix* dapat dilihat pada Tabel 4 (Foody 2002).

Tabel 4 *Confusion Matrix*

Kelas Prediksi	Kelas Aktual				Σ
	A	B	C	D	
A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}
B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{B+}
C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{C+}
D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}
Σ	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n

Kesalahan komisi merupakan kesalahan akibat suatu area diklasifikasikan pada kelas yang salah di lapangan. Nilai ini dapat menunjukkan seberapa baik suatu piksel yang telah diklasifikasikan, secara aktual mewakili kelas-kelas tersebut di lapangan. Kesalahan Komisi dapat dirumuskan sebagai berikut (Foody 2002).

$$\text{Kesalahan Komisi} = \frac{n_{AB} + n_{AC} + n_{AD}}{n_{A+}} \times 100 \% \quad (11)$$

Kesalahan omisi merupakan kesalahan akibat suatu area di lapangan tidak diklasifikasikan pada kelas yang benar. Nilai ini dapat menunjukkan seberapa baik suatu kelas telah dapat diklasifikasikan (Foody 2002).

$$\text{Kesalahan Omisi} = \frac{n_{BA} + n_{CA} + n_{DA}}{n_{+A}} \times 100 \% \quad (12)$$

Akurasi keseluruhan menunjukkan banyaknya jumlah piksel yang terkласifikasi secara benar pada tiap kelas dibanding jumlah sampel yang digunakan untuk uji akurasi pada semua kelas. Kelemahan metode ini adalah tidak mempertimbangkan aspek kesalahan dari tiap kelas yang ada. Menurut Jaya (2010), akurasi keseluruhan umumnya terlalu *over estimate* sehingga jarang digunakan sebagai indikator yang baik untuk mengukur keberhasilan suatu klasifikasi. Akurasi yang dianjurkan untuk digunakan adalah akurasi koefisien Kappa. Akurasi keseluruhan dan koefisien Kappa dapat dirumuskan pada persamaan 13 dan 14 (Foody 2002).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

$$\text{Akurasi keseluruhan} = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} \times 100 \quad (13)$$

Nilai akurasi yang paling banyak digunakan adalah akurasi koefisien Kappa, karena nilai akurasi ini memperhitungkan semua elemen atau kolom dari *confusion matrix*.

$$\text{Kappa} = \frac{n \sum_{k=1}^q n_{kk} - \sum_{k=1}^q n_{k+} \times n_{+k}}{n^2 - \sum_{k=1}^q n_{k+} \times n_{+k}} \quad (14)$$

Keterangan:

n_{kk} = nilai diagonal dari matrik kontingensi baris ke-k dan kolom ke-k

n_{+k} = jumlah piksel dalam kolom ke-k

n_{k+} = jumlah piksel dalam baris ke-k

n = banyaknya piksel dalam contoh

Deteksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut

Metode untuk mendeteksi perubahan penutupan lahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik perbandingan klasifikasi yaitu membandingkan citra-citra yang telah diklasifikasikan piksel demi piksel untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi. Sebagian besar deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan pendekatan berbasis piksel (Buchman 2008). Citra tahun 2000, 2004, 2006, 2009, dan 2013 yang telah diklasifikasikan jenis tutupan lahannya akan dibandingkan. Outputnya adalah seberapa besar luas daerah tersebut mengalami perubahan dalam jangka waktu tertentu.

Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Gambut

Setelah mengetahui seberapa besar perubahan tutupan lahan dapat dilakukan pemodelan prediksi perubahan tutupan lahan di masa depan dengan menggunakan model rantai Markov. Konsep model rantai markov adalah model yang merepresentasikan peluang suatu kejadian pada suatu waktu yang bergantung pada kejadian waktu sebelumnya (Ching dan Ng 2006). Rantai Markov orde satu secara matematika dirumuskan pada persamaan 9.

Pada tahap ini akan dibangun matriks peluang transisi perubahan penutupan lahan yaitu dengan menghitung peluang perubahan suatu kelas menjadi kelas lain. Matriks transisi yang dibangun berukuran 3×3 sesuai dengan banyak kelas tutupan lahan yaitu vegetasi rapat, vegetasi jarang, dan non vegetasi. Matriks transisi yang akan dibangun menggunakan interval waktu 3 tahun (tahun 2006-2009), 6 tahun (tahun 2000-2006), dan 9 tahun (tahun 2000-2009), model ini akan diuji coba untuk memprediksi tutupan lahan pada tahun 2013. Selanjutnya akan dihitung akurasi model yaitu dengan membandingkan data hasil prediksi dengan data aktual tutupan lahan tahun 2013, serta akan dibandingkan model dengan interval waktu mana yang menghasilkan akurasi tinggi. Dua ukuran statistika yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi hasil prediksi yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE) dan index kesesuaian (D) (Krause *et al.* 2005). RMSE adalah rata-rata kuadrat dari perbedaan nilai prediksi dengan nilai observasi suatu variabel. Jika nilai RMSE semakin kecil maka nilai prediksi model tersebut semakin valid. Nilai D menunjukkan derajat kesesuaian antara

prediksi dan observasi, semakin mendekati nilai 1 artinya model semakin valid. RMSE dan D dapat dihitung dengan rumus berikut (Krause *et al.* 2005).

$$\text{RMSE} = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^N P_i - O_i^2 \right]^{0.5} \quad (15)$$

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i'| + |O_i'|)^2} \right] \quad (16)$$

Di mana N adalah jumlah kelas tutupan lahan, P adalah kelas prediksi dan O' adalah kelas observasi, $P_i' = P_i - \bar{O}$ dan $O_i' = O_i - \bar{O}$, \bar{O} adalah rata-rata nilai dari kelas observasi.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Praproses Citra

Citra lahan gambut sangat dalam diekstrak nilai DNnya, setiap citra terdiri atas 9652518 piksel, kemudian dilakukan pembersihan data dimana data yang memiliki nilai DN=0 dibuang, sehingga setiap citra memiliki 2292600 piksel. Sebanyak 3000 piksel digunakan sebagai data *training area* untuk membangun model SVM, dengan rincian sebanyak 2000 piksel menjadi data latih dan 1000 piksel menjadi data uji. Contoh dari *training area* dapat dilihat pada Lampiran 2.

Klasifikasi Menggunakan SVM

Pada selanjutnya setelah mengekstraksi nilai DN dan membuat *training area* adalah melakukan klasifikasi dengan SVM. Klasifikasi data terdiri dari tiga kelas. Pelatihan SVM menggunakan fungsi kernel RBF. Kernel RBF memiliki parameter C dan γ yang harus dioptimalkan untuk menghasilkan model SVM yang baik. Pengoptimalan parameter kernel RBF pada penelitian ini menggunakan *grid search* pada rentang 10^{-1} - 10^1 untuk parameter C dan 10^{-6} - 10^{-1} untuk parameter γ . Parameter terbaik untuk *hyperplane* ditentukan dengan nilai error terkecil, nilai error model dari berbagai kombinasi parameter C dan γ disajikan pada Lampiran 3. Dari hasil pelatihan didapat nilai optimal untuk $C = 10$ dan $\gamma = 0.1$ dengan nilai *error* rata-rata 1.57%, sehingga nilai parameter ini akan menjadikan masukan dalam pembentukan model SVM. Implementasi proses pelatihan dan pengujian model SVM menggunakan *library* LIBSVM e1071. Tabel 5 menunjukkan hasil akurasi klasifikasi *training area* untuk citra tahun 2000, 2004, 2006, 2009, dan 2013. Informasi kesalahan komisi dan kesalahan omisi pada masing-masing kelas tutupan lahan dapat diperoleh berdasarkan perhitungan dari *confusion matrix* yang terdapat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5. Kelas Non vegetasi merupakan kelas dengan nilai kesalahan komisi tertinggi yaitu rata-rata sebesar 2.4%. Kesalahan omisi atau persentase piksel kelas lain yang salah diklasifikasikan paling tinggi (1.9%) dapat dilihat pada kelas vegetasi jarang. Kelas tutupan lahan dengan komposit warna hampir serupa seperti kelas vegetasi jarang (kebun) dan lahan terbuka merupakan kelas tutupan lahan yang selalu terdapat kesalahan komisi dan omisi.

Tabel 5 Akurasi hasil klasifikasi *training area* untuk masing-masing tahun pengamatan

Citra	Koefisien Kappa	Akurasi Keseluruhan (%)
2000	0.92	95
2004	0.98	99
2006	1.00	100
2009	0.99	99
2013	0.98	98

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 © Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Menurut Treitz dan Roga (2004) untuk studi deteksi perubahan tutupan lahan akurasi hasil klasifikasi harus lebih besar dari 85%. Akurasi rata-rata dari hasil klasifikasi pada penelitian ini adalah sebesar 98.2% sehingga model SVM tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasi DN setiap piksel citra. Setelah semua piksel masing-masing citra diklasifikasi maka luas setiap kelas dapat ditentukan dengan rumus

$$\text{Luas (ha)} = \text{jumlah piksel} \times 900 \text{ m}^2 / 10000 \quad (17)$$

Setiap piksel berukuran 30×30 m, sehingga 1 piksel memiliki luas 900 m^2 . Luas tutupan lahan untuk masing-masing tahun disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Luas tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir untuk masing-masing tahun pengamatan

Kelas	Luas (ha)				
	2000	2004	2006	2009	2013
Vegetasi rapat	132.061	122.606	109.866	66.333	51.727
Vegetasi jarang	51.921	64.380	56.087	55.958	63.533
Non vegetasi	22.353	19.348	40.381	84.043	91.074

Tabel 7 Perubahan tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir antara tahun 2000 dan tahun 2013

Tahun 2013						
	Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	Non vegetasi	Total Area	Perubahan	%
Tahun 2000	Vegetasi rapat	46.142	29.546	56.373	132.061	-80.335
	Vegetasi jarang	4.942	23.269	23.711	51.922	+11.611
	Non vegetasi	643	10.718	10.990	22.351	+68.723
	Total Area	51.727	63.533	91.074		+307

Deteksi perubahan menggunakan teknik perbandingan klasifikasi yaitu membandingkan citra-citra yang telah diklasifikasikan piksel demi piksel untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada dua waktu yang berbeda (T1 dan T2). Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa luas area vegetasi rapat terus mengalami pengurangan, Untuk area non vegetasi selalu mengalami penambahan luas sejak tahun 2004, dari data tersebut dapat dilihat *trend* perubahan vegetasi rapat berbeda dengan non vegetasi. Periode antara tahun 2000 dan tahun 2013 (Tabel 7), luas area vegetasi rapat mengalami pengurangan luas sebesar 80.335 ha, area vegetasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

jarang bertambah luasnya sebesar 11.611 ha, dan area non vegetasi bertambah luasnya sebesar 68.723 ha. Berkurangnya luas vegetasi rapat sebesar 61% mengakibatkan bertambahnya luas area non vegetasi sebesar 307% dan area vegetasi jarang sebesar 22%, ini berarti pada periode antara tahun 2000 dan tahun 2013 luas area non vegetasi meningkat tiga kali lipat. Tabel 7 menunjukkan perubahan suatu kelas tutupan lahan menjadi kelas lain, perlu diperhatikan bahwa area vegetasi rapat pada tahun 2000 yang menjadi area non vegetasi pada tahun 2013 adalah sebesar 56.373 ha atau 42%.

Jenis lahan gambut di pulau Sumatera dikategorikan berdasarkan tingkat kematangan *Fibrists* (belum melapuk), *Hemists* (setengah melapuk), *Saprists* (sudah melapuk) dan campuran salah satu dari ketiganya. Jenis lahan gambut pada area studi ini adalah *Hemists/Saprists* (60/40), sangat dalam. Nilai (60/40) menunjukkan areal tersebut meliputi 60% *Hemists* dan 40% *Saprists*, sangat dalam merupakan kategori ketebalan gambut dengan ketebalan 400-800 cm (Wahyunto *et al.* 2005). Menurut Najiyati *et al.* (2005) pembukaan lahan gambut melalui pembuatan saluran drainase telah memotong kubah gambut yang mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan tanah (*subsidence*) dan pengeringan permukaan tanah gambut serta oksidasi pirit yang bersifat racun dan masam. Lama dan kecepatan penurunan tersebut tergantung pada kedalaman gambut. Semakin tebal gambut, penurunan tersebut semakin cepat dan berlangsung lama.

Kebijakan umum dalam pemanfaatan lahan gambut tertuang dalam Keppres No.32 tahun 1990 bahwa tanah gambut dengan ketebalan 3 m atau lebih termasuk kategori kawasan lindung yang tidak boleh diganggu karena berfungsi sebagai wilayah tangkapan air dan penambat karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer (Noor 2001). Hal ini diperkuat dalam Peraturan Pemerintah No.71 tahun 2014 tentang perlindungan dan pengelolaan ekosistem gambut, fungsi ekosistem gambut meliputi fungsi lindung dan fungsi budidaya. Menteri wajib menetapkan fungsi lindung ekosistem gambut paling sedikit 30% dari seluruh luas kesatuan hidrologis gambut serta terletak pada puncak kubah gambut dan sekitarnya. Lahan gambut dengan ketebalan 3 m atau lebih dan plasma nutfah spesifik masuk ke dalam kawasan lindung (Republik Indonesia 2014). Pada kenyataannya tanah gambut dengan ketebalan lebih dari 3 m di kabupaten Rokan Hilir tetap dimanfaatkan untuk kepentingan pertanian, perladangan, maupun perkebunan.

Perubahan lahan gambut alami berupa hutan menjadi areal pertanian dan perkebunan kelapa sawit telah mengakibatkan terganggunya fungsi ekosistem lahan gambut. Hal itu diperparah dengan adanya sifat gambut yang khas, yaitu *irreversible drying* (pengeringan tak berbalik), apabila gambut telah kering maka sangat sulit untuk membasahinya kembali, hal ini mengakibatkan terganggunya fungsi hidrologi untuk keseimbangan kondisi air di daerah sekitar lahan gambut, sehingga pada musim penghujan tanah gambut tidak mampu menyerap kelebihan air hujan yang kemudian dapat menyebabkan banjir. Selain itu, jika tanah gambut telah kering maka akan menjadi sangat rentan terhadap kebakaran (Syaufina 2008). Penelitian Usman (2014) menunjukkan bahwa pada tahun 2013 lahan gambut dengan ketebalan sangat dalam menjadi areal yang memiliki sebaran titik panas tertinggi di pulau Sumatera, titik panas merupakan salah satu indikator terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Hal ini mengindikasikan bahwa pembukaan lahan gambut dengan ketebalan lebih dari 3 m disertai kegiatan pembakaran.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Kebakaran di lahan gambut secara perlahan menggerogoti materi organik di bawahnya dan gas-gas yang diemisikan dari hasil pembakaran dapat memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim global (Adinugroho *et al.* 2005).

Membangun Model Perubahan Tutupan Lahan

Model rantai Markov telah banyak digunakan untuk memodelkan perubahan tutupan lahan termasuk wilayah urban maupun non-urban pada wilayah yang luas (Wu 2006). Model rantai Markov digunakan untuk mendapatkan persentase dan peluang setiap tipe tutupan lahan yang berubah menjadi tipe tutupan lahan lainnya. Penelitian ini menggunakan model rantai Markov orde pertama, sebagian besar studi mengenai ekologi menggunakan rantai Markov orde pertama. Model rantai Markov orde pertama merupakan model dimana distribusi peluang keadaan berikutnya diasumsikan hanya bergantung pada keadaan saat ini. Perubahan lahan didefinisikan sebagai fungsi peluang. Komponen peluang perubahan lahan dalam hal ini dinyatakan dalam suatu matriks yang dikenal sebagai matriks peluang transisi. Setiap kelas lahan memiliki peluang perubahan yang berbeda antara kelas yang satu dengan lainnya. Peluang kejadian di masa yang akan datang ($V_{initial+t}$) dapat diprediksi dengan mengalikan state awal atau yang disebut kejadian saat ini ($V_{initial}$) dengan matrik peluang transisi [P_{ij}] periode waktu t (Al-Bakri *et al.* 2013). Sehingga dapat kita rumuskan

$$(V_{initial+t}) = (V_{initial}) * [P_{ij}] \quad (18)$$

Model rantai markov ini akan dibangun untuk kombinasi periode 2006-2009, 2000-2006, 2000-2009. Penentuan transisi perubahan lahan dilakukan dengan perhitungan *cross-tabulation*, perhitungan ini menggambarkan perubahan dari suatu keadaan menuju keadaan-keadaan lainnya.

NV (a,b)	VR (a,b+1)
NV (a+1,b)	VJ (a+1,b+1)

Citra tahun t1

VJ (a,b)	VR (a,b+1)
VJ (a+1,b)	VJ (a+1,b+1)

Citra tahun t2

Keterangan : NV = Non vegetasi
 VR = Vegetasi rapat
 VJ = Vegetasi Jarang

Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa tutupan lahan pada waktu t1 pada piksel baris ke a+1 dan kolom ke-b dan tutupan lahan pada waktu t2 pada piksel baris ke a+1 dan kolom ke-b, nilainya berubah dari tutupan non vegetasi menjadi vegetasi jarang. Demikian seterusnya sehingga dapat dibangun *cross-tabulation* yang menggambarkan jumlah piksel yang mengalami perubahan lahan atau yang tidak mengalami perubahan. *cross-tabulation* ini dapat merepresentasikan matrik peluang transisi (P_{ij}). Semua kemungkinan transisi i-j, dibagi dengan total area i

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

pada state awal. Sebagai contoh Tabel 8 merupakan *cross-tabulation* interval sembilan tahun (2000-2009), untuk *cross-tabulation* dan matrik peluang transisi interval tiga tahun (2006-2009) dan enam tahun (2000-2006) disajikan pada Lampiran 6, 7, 8, dan 9. Suatu matrik peluang transisi memiliki elemen pada setiap barisnya harus sama dengan satu, dan semua elemen harus bernilai positif.

Tabel 8 *Cross-tabulation* periode tahun 2000-2009

		Tahun 2009			
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	non vegetasi	Total Piksel
Tahun 2000	Vegetasi rapat	674.905	351.946	440.506	1.467.357
	Vegetasi jarang	57.594	189.600	329.711	576.905
	Non vegetasi	4539	80.209	163.590	248.338
	Total Piksel	737.038	621.755	933.807	2.292.600

Tabel 9 Matrik peluang transisi periode tahun 2000-2009

		Tahun 2009			
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	Non vegetasi	
Tahun 2000	Vegetasi rapat	0.4599	0.2399	0.3002	
	Vegetasi jarang	0.0998	0.3287	0.5715	
	Non vegetasi	0.0183	0.3230	0.6587	

Untuk menentukan distribusi tutupan lahan dapat menggunakan prinsip stasioneritas dari rantai Markov, peluang perubahan dalam satu periode waktu yang sama, besar peluang perubahannya selalu tetap. Sehingga peluang transisi perubahan tahun 2000-2009 adalah sama dengan besar peluang transisi perubahan tahun 2004-2013. Jika diketahui luas tutupan lahan pada tahun 2004 dengan menggunakan peluang transisi perubahan tahun 2000-2009 dapat diprediksi distribusi luas tutupan lahan tahun 2013. Untuk memprediksi tutupan lahan tahun 2013 dapat dilakukan dengan rumus:

$$(V_{2013}) = (V_{2004}) * [P_{2000-2009}]$$

Prosedur yang sama dilakukan untuk interval waktu enam tahun yaitu tahun 2000-2006 dan interval tiga tahun yaitu tahun 2006-2009. Matriks transisi interval enam tahun menggunakan persentase luas tutupan tahun 2006 sebagai $V_{initial}$ sedangkan matriks transisi interval tiga tahun menggunakan persentase luas tutupan tahun 2009 sebagai $V_{initial}$. Hasil prediksi disajikan pada Tabel 10.

Untuk mengevaluasi hasil prediksi tutupan lahan ada dua pendekatan statistik yang digunakan yaitu RMSE dan D (*Index of agreement*) (Krause et

al.2005). Untuk pendekatan evaluasi menggunakan RMSE, semakin kecil nilai RMSE menunjukkan semakin baik hasil prediksi. Jika nilai D mendekati 1 menunjukkan kesesuaian antara prediksi dan aktual, sementara semakin mendekati 0 menunjukkan ketidaksesuaian antara prediksi dan aktual. Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa model dengan interval waktu 3 tahun dapat memprediksi area non vegetasi tahun 2013 dengan baik.

Tabel 10 Hasil prediksi tutupan lahan gambut di kabupaten Rokan Hilir pada tahun 2013

Kelas	Prediksi tutupan lahan 2013 (%)			
	2013	3 tahun	6 tahun	9 tahun
vegetasi rapat	25	23	47	31
vegetasi jarang	31	27	31	27
non vegetasi	44	50	22	42
Akurasi				
RMSE		0.04	0.18	0.04
D		0.95	0.02	0.91

Berdasarkan prinsip stasioneritas rantai Markov maka pada penelitian akan dilakukan prediksi distribusi luas tutupan lahan tahun 2016. Hasil dari prediksi distribusi luas tutupan lahan menunjukkan bahwa area non vegetasi akan bertambah menjadi 53% pada tahun 2016, area vegetasi rapat berkurang menjadi 20%, dan area vegetasi jarang berkurang menjadi 27%. *Trend* peningkatan persentase luas area non vegetasi mengindikasikan adanya peningkatan kegiatan alih fungsi hutan yang menyebabkan degradasi hutan yang rentan terhadap kebakaran hutan.

Konversi lahan hutan menjadi lahan non hutan, baik untuk kepentingan pertanian, perladangan, maupun perkebunan biasanya disertai kegiatan pembakaran. Kegiatan tersebut biasa dilakukan dalam kegiatan penyiapan lahan di Sumatera maupun Kalimantan sebagai wilayah kebakaran (Syaufina 2008). Penelitian dari *Center for International Forestry Research* (CIFOR) menemukan bahwa pada tahun 2012, kebakaran hutan di provinsi Riau melepaskan emisi karbon antara 1.5 miliar dan 2 miliar ton hanya dalam satu pekan, setara dengan 10% emisi tahunan total Indonesia (Gaveau *et al.* 2014). Hal ini harus mendapat perhatian serius dari pemerintah mengingat luas area non vegetasi semakin bertambah akibat konversi lahan. Implementasi peraturan perundang-undangan baru perlu diperkuat jika Indonesia ingin memenuhi komitmen global mengurangi emisi gas rumah kaca sebanyak 26% pada 2020, terutama dari degradasi hutan dan lahan gambut termasuk kebakaran hutan dan lahan.

5 SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengklasifikasikan tutupan lahan vegetasi rapat, vegetasi jarang, dan non vegetasi di lahan gambut sangat dalam berdasarkan nilai DN (*digital number*) menggunakan metode SVM dengan akurasi rata-rata 98.2% dan koefisien Kappa rata-rata 0.97. Akan tetapi sulit menentukan tutupan lahan secara detail dengan menggunakan nilai DN. Antara tahun 2000 dan tahun 2013 area non vegetasi meningkat 307% ini berarti bahwa area non vegetasi meningkat tiga kali lipat, area vegetasi jarang meningkat sebesar 22%, sementara itu area vegetasi rapat menurun 61%. Prediksi perubahan tutupan lahan gambut menggunakan Model Rantai Markov menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit multi temporal interval 3 tahun memberikan hasil prediksi yang baik dengan indeks kesesuaian prediksi dan aktual (D) sebesar 0.95 dan RMSE sebesar 0.04. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *trend* area non vegetasi semakin bertambah, sedangkan area dengan vegetasi rapat semakin berkurang. Prediksi dengan menggunakan model rantai Markov menunjukkan bahwa area non vegetasi pada tahun 2016 akan mencapai 53%. Hasil prediksi tutupan lahan mungkin akan berbeda dengan tutupan lahan yang sebenarnya nanti, hal ini dapat disebabkan oleh iklim, kebijakan pemerintah, dan eksloitasi oleh manusia pada wilayah kajian ini.

Saran

Penelitian lanjutan diharapkan menggunakan citra resolusi tinggi seperti citra Quickbird agar dapat mengidentifikasi tutupan lahan secara detail. Mencoba menggunakan model CA-Markov untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho WC, Suryadiputra INN, Saharjo BH, Siboro L. 2005. *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut*. Proyek Climate Change, Forest and Peatlands in Indonesia. Wetlands International-Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor (ID): Wetlands International-IP.
- Agus F, Subiksa IGM. 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan*. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Al-Bakri JT, Duqqah M, Brewer T. 2013. Application of remote sensing and GIS for modelling and Assesment of land use/cover change in Amman Jordan. *Journal of Geographic Information System*. 5:509-519.
- Balzter H. 2000. Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*. 126(2):139-154.
- [BSDLP] Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. 2011a. *Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000*. Bogor (ID): Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Buchman M. 2008. Land use modeling using higher order Markov chains [tesis]. Illinois (US): Southern Illinois University.
- Chang K T. 2006. *Introduction to geographic information systems*. Boston (US): McGraw-Hill Higher Education.
- Ching WK, Ng MK. 2006. *Markov Chain. Model, Algorithm and Applications*. New York (US): Springer Science Business Media, Inc.
- Cristianini N, Shawe-Taylor J. 2000. *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods*. Cambridge (UK): Cambridge university press.
- Du P, Liu S, Gamba P, Tan K, Xia J. 2012. Fusion of difference images for change detection over urban areas. *IEEE journal*. 4:1076-1086.
- [FWI] Forest Watch Indonesia. 2014. *Potret Keadaan Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Forest Watch Indonesia dan Washington DC.
- Foody GM. 2002. Status of Land Cover Classification Accuracy Assesment. *Remote Sensing of Environtment*. 8:185-201.
- Gaveau DLA, Salim MA, Hergoualc'h K, Locatelli B, Sloan S, Wooster M, Marlier ME, Molidena E, Yaen H, De Fries R *et al.* 2014. Major atmospheric emissions from peat fires in Southeast Asia during non-drought years: evidence from the 2013 Sumatran fires. *Nature* [Internet]. [diunduh 2015 Sep 10]; 4(6112):1-7. Tersedia pada: <http://www.cifor.org/library/5025/major-atmospheric-emissions-from-peat-fires-in-southeast-asia-during-non-drought-years-evidence-from-the-2013-sumatran-fires>.
- Huang C, Davis LC, Townshend JRG. 2002. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal Remote Sensing*. 23(4):725-749.

- Jaya INS. 2010. *Analisis Citra Digital Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2009. *Indonesia: Summary for Policy Makers: Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. Jakarta (ID): Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Krause P, Boyle D P, Bäse F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*. 5:89-97.
- Li HD, Liang YZ, Xu QS, Cao DS, Tan BB, Deng BC, Lin CC. 2011. Recipe for uncovering predictive genes using support vector machines based on model population analysis. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics (TCBB)*. 8(6): 1633-1641.
- Lillesand Th, M Ralph, W Kiefer. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons. New York.
- Liu JC, Mason PJ. 2009. *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*. Chichester : John Wiley and Sons.
- Mangku IW. 2005. *Dasar-dasar Pemodelan Stokastik*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Meyer D, Wien FT. 2014. Support vector machines. *The Interface to libsvm in package e1071*.
- Mondal A, Kundu S, Chandniha SK, Shukla R, Mishra PK. 2012. Comparison of support vector machine and maximum likelihood classification technique using satellite Imagery. *International Journal of Remote Sensing and GIS*. (2):116-123.
- Najiyati S, Muslihat L, Suryadiputra INN. 2005. *Panduan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan*. Bogor (ID): Wetlands International-IP.
- [NASA] National Aeronautical and Space Administration. 2013. Landsat 8. [Internet]. [diunduh 2014 Nov 20]. Tersedia pada: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=7195.
- [NRCan] Natural Resources Canada. 2014. Radiation-Target Interactions. [Internet]. [diunduh 2015 Sep 10]. Tersedia pada: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14637>.
- [NRCan] Natural Resources Canada. 2014. Characteristics of Images. [Internet]. [diunduh 2015 Sep 10]. Tersedia pada: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14641>.
- [NGA] National Geospatial-Intelligence Agency. 2014. Grid Information. [Internet]. [diunduh 2015 Sep 10]. Tersedia pada: <http://earth-info.nga.mil/GandG/coordsys/grids/grid1.html>.
- Noor M. 2001. *Pertanian Lahan Gambut*. Yogyakarta (ID): Penerbit Kanisius.
- Osuna EE, Freund R, Girosi F. 1997. *Support Vector Machines: Training and Applications*. AI Memo 1602, Massachusetts Institute of Technology.
- Pemerintah Kabupaten Rokan Hilir. 2009. Letak geografis, luas wilayah dan iklim. [Internet]. [diunduh 2014 Okt 1]. Tersedia pada: <http://www.rohilkab.go.id/mainmenu-1-Geografi.html>.

- Republik Indonesia. 2014. Peraturan Pemerintah No 71 tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut. [Internet]. [diunduh 2015 Sep 10]. Tersedia pada: <http://perundanganri.bantulkab.go.id>.
- Santosa B, Trafalis TB. 2007. Robust multiclass kernel-based classifiers. *Computational Optimization and Applications*. 38(2):261-279.
- Schölkopf B, Smola AJ. 2002. *Learning with kernels: Support vector machines, regularization, optimization, and beyond*. Boston (US): MIT press.
- Soman KP, Loganathan R, Ajay V. 2009. *Machine Learning with SVM and other Kernel methods*. New Delhi (IN): PHI Learning Pvt. Ltd.
- Syaufina L. 2008. *Kebakaran hutan dan lahan di Indonesia: perilaku api, penyebab, dan dampak kebakaran*. Malang (ID): Bayumedia .
- Tan P, Steinbach M, Kumar V. 2006. *Introduction to Data Mining*. Minneapolis (US): Addison Wesley.
- Treitz P, Rogan J. 2004. Remote sensing for mapping and monitoring land cover and land use change: an introduction. *Progress in Planning*. 61(4):269–279.
- Usman M. 2014. Spatial clustering berbasis densitas untuk persebaran titik panas sebagai indikator kebakaran hutan dan lahan gambut di Sumatera [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Wahyunto, Ritung S, Suparto, Subagjo H. 2005. *Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatera dan Kalimantan*. Bogor (ID): Wetland International-Indonesia Programme.
- Wu Q , Li HQ, Wang RS, Paulussen J, He Y, Wang M, Wang BH, Wang Z. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*. 78(4):322-333.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta Milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh hasil ekstraksi nilai DN

id numeric	x numeric	y numeric	band5 numeric	band4 numeric	band3 numeric
41492	100.9493804	2.213881502	36	71	15
41493	100.9496500	2.213881502	43	78	15
41494	100.9499196	2.213881502	45	76	15
41495	100.9501892	2.213881502	48	74	17
41496	100.9504589	2.213881502	43	77	15
41497	100.9507285	2.213881502	36	70	14
41498	100.9509981	2.213881502	34	67	15
41499	100.9512677	2.213881502	34	75	13
41500	100.9515373	2.213881502	36	76	14
41501	100.9518070	2.213881502	38	70	14
41502	100.9520766	2.213881502	40	73	15
41503	100.9523462	2.213881502	41	73	15
41504	100.9526158	2.213881502	39	73	14
41505	100.9528854	2.213881502	35	73	15
41506	100.9531551	2.213881502	41	79	15
41507	100.9534247	2.213881502	40	71	15

Lampiran 2 Contoh *training area*

id numeric(10,0)	band5 numeric(10,0)	band4 numeric(10,0)	band3 numeric(10,0)	kelas06 character(25)
2007259	64	97	20	vegetasi jarang
2004569	88	106	29	vegetasi jarang
2017949	103	94	35	non vegetasi
2020626	66	95	22	vegetasi jarang
2039389	59	83	23	vegetasi jarang
2047425	50	88	20	vegetasi jarang
2058165	90	109	28	vegetasi jarang
2074243	43	79	18	vegetasi rapat
2095717	48	88	21	vegetasi rapat
2130603	60	96	19	vegetasi jarang
2146690	69	92	20	vegetasi jarang
2154886	40	78	21	vegetasi rapat
2120366	36	66	17	vegetasi rapat
2128314	28	64	16	vegetasi rapat
2128368	31	67	17	vegetasi rapat
2139069	31	67	15	vegetasi rapat

Lampiran 3 Nilai error model SVM dari berbagai kombinasi parameter C dan γ untuk citra Landsat tahun 2000

Gamma	Cost	Error	Dispersion
1.00E-06	0.1	0.54136364	0.03181457
1.00E-05	0.1	0.54136364	0.03181457
1.00E-04	0.1	0.54136364	0.03181457
1.00E-03	0.1	0.54136364	0.03181457
1.00E-02	0.1	0.16181818	0.02728956
1.00E-01	0.1	0.08227273	0.02272222
1.00E-06	1	0.54136364	0.03181457
1.00E-05	1	0.54136364	0.03181457
1.00E-04	1	0.54136364	0.03181457
1.00E-03	1	0.16318182	0.02862394
1.00E-02	1	0.08454545	0.02387986
1.00E-01	1	0.07227273	0.02221132
1.00E-06	10	0.54136364	0.03181457
1.00E-05	10	0.54136364	0.03181457
1.00E-04	10	0.16227273	0.02851143
1.00E-03	10	0.08545455	0.02622569
1.00E-02	10	0.07636364	0.02151302
1.00E-01	10	0.05590909	0.01976097

Nilai error model SVM dari berbagai kombinasi parameter C dan γ untuk citra Landsat tahun 2006

Gamma	Cost	Error	Dispersion
1.00E-06	0.1	0.541363636	0.031814574
1.00E-05	0.1	0.541363636	0.031814574
1.00E-04	0.1	0.541363636	0.031814574
1.00E-03	0.1	0.527272727	0.033402133
1.00E-02	0.1	0.080454545	0.021857078
1.00E-01	0.1	0.013181818	0.009203844
1.00E-06	1	0.541363636	0.031814574
1.00E-05	1	0.541363636	0.031814574
1.00E-04	1	0.527272727	0.033402133
1.00E-03	1	0.081363636	0.021043704
1.00E-02	1	0.012727273	0.009290733
1.00E-01	1	0.005	0.005848563
1.00E-06	10	0.541363636	0.031814574
1.00E-05	10	0.527272727	0.033402133
1.00E-04	10	0.081363636	0.021043704
1.00E-03	10	0.013181818	0.008950943
1.00E-02	10	0.005454545	0.005984369
1.00E-01	10	0.003636364	0.005984369

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Lampiran 4 Rata-rata kesalahan komisi pada tiap tutupan lahan

Kelas	Kesalahan Komisi					
	2000	2004	2006	2009	2013	Rata-rata
Vegetasi rapat	0.00	1.60	0.00	0.00	2.14	0.75
Vegeratasi jarang	4.00	0.82	0.00	0.40	0.67	1.18
Non vegetasi	11.01	0.00	0.00	0.00	1.01	2.40

Lampiran 5 Rata-rata kesalahan omisi pada tiap tutupan lahan

Kelas	Kesalahan Omisi					
	2000	2004	2006	2009	2013	Rata-rata
Vegetasi rapat	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.3
Vegeratasi jarang	7.1	1.0	0.0	0.0	1.5	1.9
Non vegetasi	6.3	1.3	0.0	0.0	0.7	1.7

Lampiran 6 cross-tabulation periode tahun 2006-2009

		Tahun 2009			Total Piksel
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	non vegetasi	
Tahun 2006	Vegetasi rapat	649684	285883	285166	1220733
	Vegetasi jarang	36223	243769	343192	623184
	Non vegetasi	51130	92103	305450	448683
	Total Piksel	737037	621755	933808	2292600

Lampiran 7 Matrik peluang transisi periode tahun 2006-2009

		Tahun 2009		
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	Non vegetasi
Tahun 2006	Vegetasi rapat	0.03	0.20	0.28
	Vegetasi jarang	0.08	0.15	0.49
	Non vegetasi	1.64	1.39	2.08

Lampiran 8 *cross-tabulation* periode tahun 2000-2006

		Tahun 2006			
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	non vegetasi	Total Piksel
Tahun 2000	Vegetasi rapat	1044745	235979	186633	1467357
	Vegetasi jarang	158893	251144	166868	576905
	Non vegetasi	17095	136061	95182	248338
	Total Piksel	1220733	623184	448683	2292600

Lampiran 9 Matrik peluang transisi periode tahun 2000-2006

		Tahun 2006			
		Vegetasi rapat	Vegetasi jarang	Non vegetasi	
Tahun 2000	Vegetasi rapat	0.108	0.171	0.114	
	Vegetasi jarang	0.030	0.236	0.165	
	Non vegetasi	4.916	2.509	1.807	



RIWAYAT HIDUP

Penulis, Ulfa Khaira dilahirkan di Jambi pada tanggal 29 Desember 1989. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Dr HM Saman Sulaiman, MA dan Hj.Darniati. Penulis menempuh pendidikan S1 di Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2008-2012. Pada tahun 2013 penulis meneruskan pendidikan ke Program Magister Ilmu Komputer di Institut Pertanian Bogor atas bantuan beasiswa BPP-DN DIKTI 2013.

Selama mengikuti program S-2, penulis beberapa kali mengikuti seminar dan *workshop* internasional di antaranya adalah *The 1st International Seminar of Tropical Silviculture* pada tahun 2015 dan *International Workshop Linking Agricultural Practices and Computer Vision Technology* pada tahun 2013 di Bogor. Karya ilmiah berjudul *An Assesment of Support Vector Machines Classification to Detect Peatland Cover Changes in Rokan Hilir District Riau Province Indonesia* akan disajikan pada *The 2nd International Symposium of LISAT on Food Security and Environmental Monitoring* di Bogor pada bulan November 2015. Karya ilmiah tersebut merupakan bagian program S-2 penulis.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.